



XI-001 - SISTEMA DE ANÁLISE DE PERFORMANCE OPERACIONAL EM ESTAÇÕES ELEVATÓRIAS

Rafael Francis Leite (1)

Engenheiro Eletricista, Especialista em Saneamento Ambiental, Engenharia de Produção e de Segurança do Trabalho. Técnico Profissional na Companhia de Saneamento do Paraná – SANEPAR, Gerência de Pesquisa e Inovação – GPIN. Experiência nas áreas de Eletromecânica, Instrumentação, Controle e Automação Industrial em processos de Saneamento.

Alex Augusto Cordeiro (2)

Tecnólogo em Automação Industrial, Técnico de Suporte Operacional – SANEPAR.

Alexandre Moreno Lisboa (3)

Técnico Mecânico, SANEPAR

Jailson Silvério Pena (4)

Engenheiro Eletricista, Mestre em Automação de Sistemas, Especialista em Ciência de Dados, Teleinformática e Redes de Computadores – SANEPAR

Endereço⁽¹⁾: R. Engenheiros Rebouças, 1376, Rebouças, Curitiba, Paraná, Brasil - CEP 80215-900 - Brasil - Tel: +55 (41) 99908-0063 - e-mail: rfleite@sanepar.com.br

RESUMO

O artigo apresentado está baseado no desenvolvimento de metodologia para a redução do consumo de energia elétrica em unidades operacionais de esgoto. Com a montagem de um procedimento para a otimização do funcionamento automático dos dispositivos eletromecânicos (conjunto motobomba) nas EEE (Estação Elevatória de Esgoto), definindo novos parâmetros de controle para se obter a melhor eficiência energética.

A análise operacional das estações é realizada por meio da metodologia desenvolvida com base nos dados disponíveis nos sistemas de controle operacionais implantados (vazão, nível, consumo de energia elétrica e período de operação), estes dados em tempo real são fundamentais para o alcance dos resultados esperados. A ferramenta apresentada proporciona um maior conhecimento dos limites de operação das EEE's, permitindo ao gestor informações que auxiliam a tomada de decisão, quanto ao modo operacional de melhor performance energética.

PALAVRAS-CHAVE: Eficiência Energética, Sistema de Controle e Automação, Medição de Grandezas e Parâmetros Operacionais, Estações Elevatórias de Esgoto, Performance Energética em Estações Elevatórias

INTRODUÇÃO

Os constantes esforços para a implantação de sistemas de controle e supervisão das grandezas hidráulicas em unidades operacionais têm ampliado a operação sobre as mesmas e gerando a possibilidade de outras melhorias. Atualmente, existem inúmeros parâmetros que podem ser analisados remotamente nas estações elevatórias de esgoto: medição de vazão, de nível, de corrente e frequência do sistema de bombeamento. Isso só é possível por causa dos grandes investimentos que têm sido aplicados no setor de esgotamento sanitário: as variáveis apresentadas são algumas que estão disponíveis por meio do sistema telemétrico ou dos diversos modelos de sistemas supervisórios implantados.

A busca pela eficiência no controle operacional é um grande desafio para o saneamento. Considerando que o consumo de energia elétrica é um dos maiores custos operacionais, soluções que possibilitem a otimização no



funcionamento automático destes sistemas de bombeamento, permitem o desenvolvimento de novos controles de processo, resultando numa maior eficiência energética dos equipamentos. Por meio de uma análise do histórico e parâmetros de funcionamento das bombas elevatórias, foi desenvolvida uma nova metodologia para obter maior performance operacional dessas estações elevatórias de esgoto.

OBJETIVO

Visando a excelência na performance energética das unidades operacionais da Gerência de Tratamento de Esgoto (GTESG), este projeto propõe alternativas para otimizar o funcionamento das EEE (Estações Elevatórias de Esgoto) em operação automatizada. O estudo foi desenvolvido dentro da área de abrangência da concessão da Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar, em Curitiba e Região Metropolitana. Com mais de 100 elevatórias pertencentes à GGML (Gerência Geral Metropolitana e Litoral) que consomem um montante de energia elétrica que ultrapassa R\$9.000.000,00, anualmente.

Seguindo a linha da pesquisa aplicada, buscando a redução do consumo de energia elétrica, o desenvolvimento de uma nova metodologia para melhorar a performance hidráulica do sistema foi realizada, por meio de uma análise do histórico de diversos parâmetros de funcionamento dos conjuntos motobombas, correlacionando com o melhor ponto operacional das bombas centrífugas.

Por meio da metodologia desenvolvida, é possível a implantação de sistemas que realizam a análise da performance operacional nas estações elevatórias automaticamente. Com os parâmetros analisados nela e com base nos dados gerados pela Telemetria, o procedimento desenvolvido se torna uma importante ferramenta em busca de uma melhor forma de operação das estações elevatórias de esgoto, auxiliando numa melhor tomada de decisão.

METODOLOGIA UTILIZADA

É primordial conhecer os dados disponíveis pelas telemetrias nas EEE's para a implantação da metodologia e integração ao sistema. O primeiro sistema supervisor analisado foi o SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), este sistema utiliza CLP (Controladores Lógicos Programáveis) e transmite os dados a partir de rádio-enlace como sistema de comunicação.

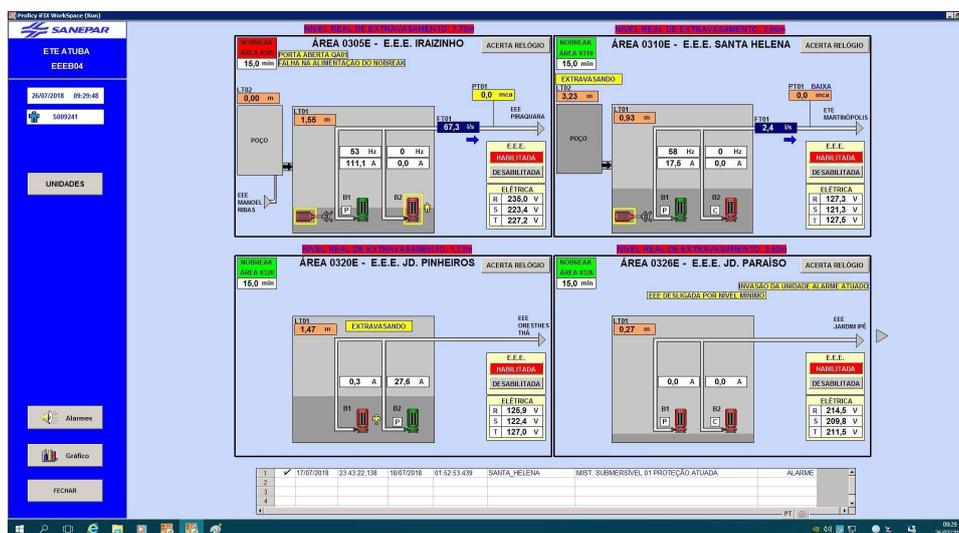


Figura 1 - Sistema SCADA EEE - Unidade Industrial Iraí

O segundo é o Telelog, que está sendo utilizado em algumas unidades operacionais da GTESEG, é um sistema de telemetria que faz a aquisição e repasse de dados de campo via GPRS de telefonia celular, enviando as informações que ficam disponíveis para todos os funcionários via Intranet. Este sistema utiliza um hardware próprio, de fornecimento e manutenção através de contrato direto com o fabricante, no formato Dados como Serviço. Continua sendo implantado nas demais regiões atendidas pela Sanepar.

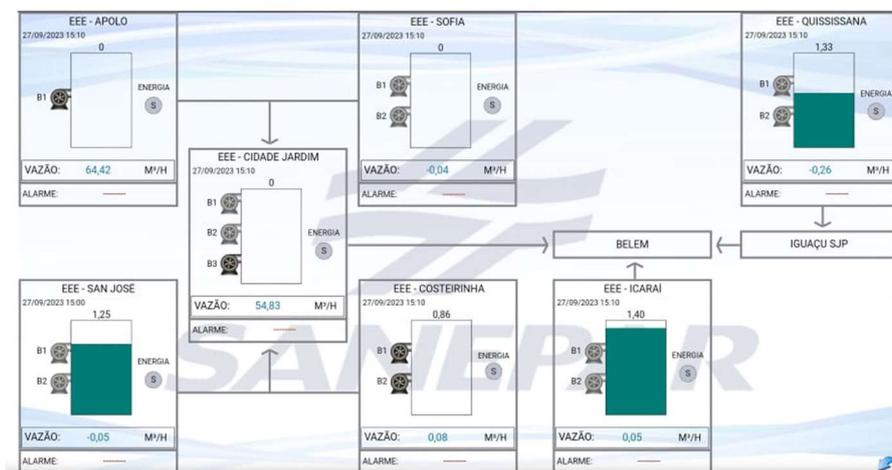


Figura 2 - Sistema Telelog

A metodologia para análise de parâmetros operacionais em elevatórias é realizada por meio dos dados disponibilizados pela telemetria, buscando sempre a melhor forma de operação para o sistema implantado.

São realizadas as análises seguindo cinco níveis de complexidade:

1. Análise Eletromecânica Básica (Corrente Elétrica x Vazão);
2. Ciclo de Funcionamento;
3. Análise do Perfil do Gráfico da Vazão e Nível;
4. Ajuste de Set Point (Performance do Rendimento Hidráulico);
5. Análise Eletromecânica Avançada (Performance do indicador Vazão/kWh).

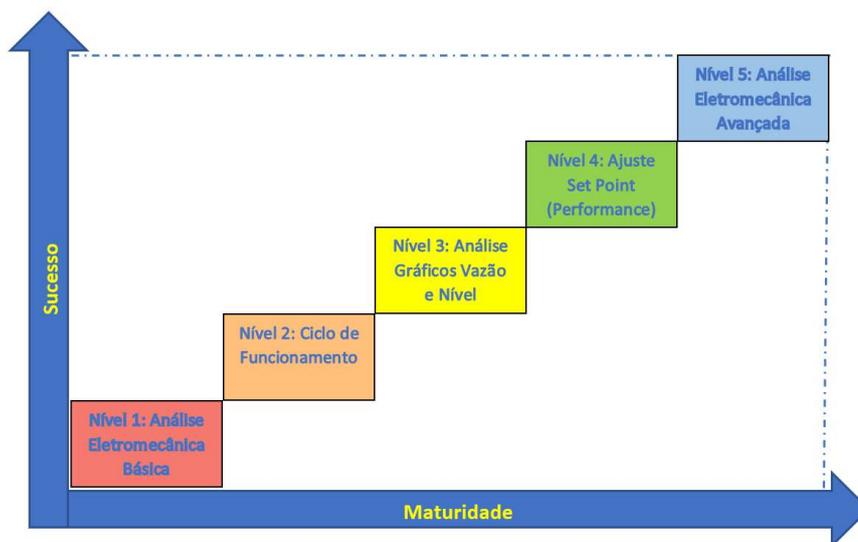


Figura 3 - Nível de Maturidade da Análise

1. Análise Eletromecânica Básica

A análise eletromecânica básica consiste na comparação da performance do indicador de variáveis Corrente Elétrica versus Vazão de cada motobomba instalada na elevatória. As bombas são acionadas individualmente e aquela com a maior vazão e menor corrente elétrica deverá ser selecionada como principal (maior eficiência aplicada), ficando a segunda melhor como reserva, e se houver uma terceira ou quarta, assim sucessivamente.

2. Ciclo de Funcionamento

Após a realização da primeira etapa, o Ciclo de Funcionamento deve ser medido para cada conjunto motobomba. Realizando a análise entre as variáveis Corrente, Nível, Vazão e Tempo, com todos os gráficos sobrepostos, deve-se comparar os degraus de acionamento de todas as bombas (1, 2 e 3) e o tempo de duração que elas gastam para baixar o nível do reservatório de acúmulo da elevatória de esgoto sanitário. Nesse caso, a bomba escolhida na primeira parte da metodologia deve ser a mais eficiente, esgotando o reservatório mais rapidamente.

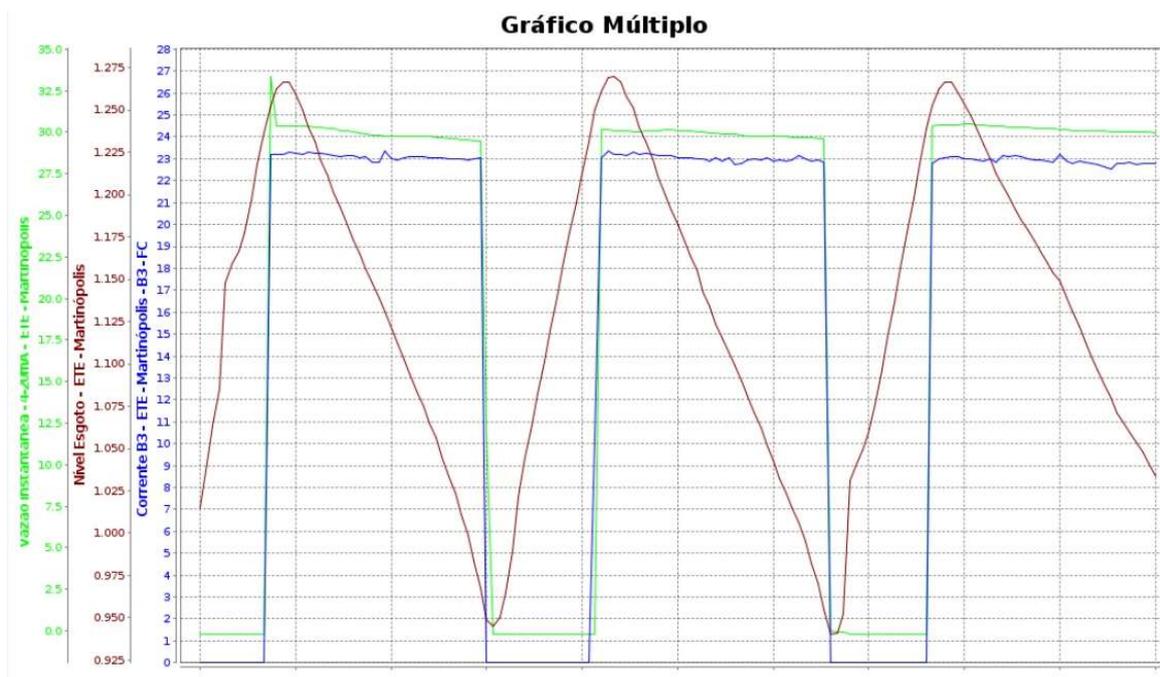


Figura 4 - Gráfico comparando Corrente Elétrica, Nível, Vazão versus Tempo

Nessa etapa é necessário realizar várias comparações para conseguir definir o melhor ciclo de trabalho de cada motobomba, pois isso estará correlacionado com a eficiência geral da elevatória e com o desgaste de cada equipamento envolvido. Por isso, é necessário medir o menor tempo para realizar o trabalho; medir a menor corrente elétrica e maior vazão; comparar o ciclo individual (tempo de bomba ligada e desligada) e o ciclo de troca entre as bombas da unidade operacional. Priorizando a com os melhores resultados das medições realizadas.

3. Análise do Perfil do Gráfico da Vazão e Nível

Na etapa anterior, observando os gráficos sobrepostos de Corrente elétrica, Vazão e Nível, é notada a diminuição da performance do bombeamento durante o ciclo de funcionamento. A curva em cor verde (vazão) inicia-se num patamar e vem decaindo com o passar do tempo, até o fim do ciclo de funcionamento da bomba. No exemplo a seguir, verifica-se que durante o funcionamento da elevatória, que tem o bombeamento acionado a 1,80 metros (nível) e desacionado com 0,85 metros, a performance da vazão tem uma queda acima de 18%, se comparar quando a bomba é acionada (19,8 l/s) para quando ela é desligada (16,2 l/s). Analisando a Corrente Elétrica, por consequência a Potência consumida, verifica-se que esta não diminui seu consumo ao longo do tempo, tendendo a uma pequena elevação (17,5A para 18A), o que significa que é gasto a mesma energia para um desempenho 18% menor.

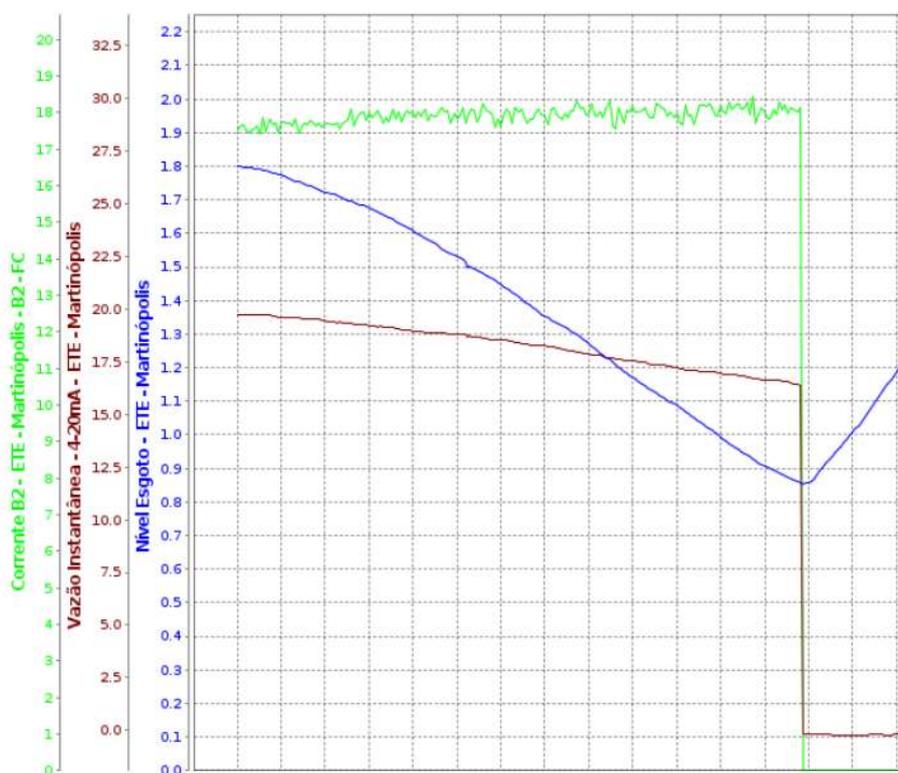


Figura 5 - Gráfico comparando Corrente Elétrica, Nível, Vazão

4. Ajuste de Set Point (Análise da Curva da Bomba, melhor Performance Hidráulica)

Com os resultados alcançados nas etapas anteriores, é analisada a curva dos quesitos Altura Manométrica (H [m]) versus Vazão (Q [l/s]) de cada bomba, comparando com o desempenho registrado pela telemetria. Observa-se na Figura 6 que com o Set Point original de funcionamento (Ponto Vermelho) com uma vazão de 16,2 l/s a bomba alcança uma altura manométrica de 8m, tem-se os valores próximos aos registrados na Figura 5. Para melhorar a performance do sistema, é possível um incremento de vazão com o ajuste de Set Point proposto (Ponto Verde), diminuindo 1 m de altura manométrica, percorrendo na curva característica da bomba para a



direita aumentando vazão para 30 l/s e diminuindo em 0,3 kW (Figura 7), com uma performance energética maior.

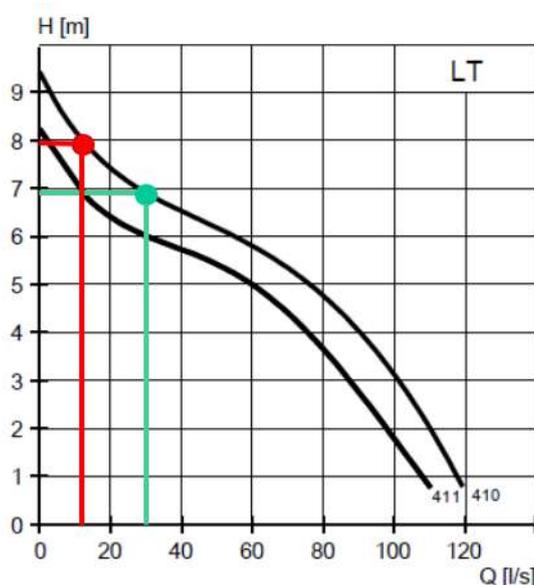


Figura 6 - Curva do Bombeamento: Set Point original (Vermelho), Set Point após ajuste (Verde)

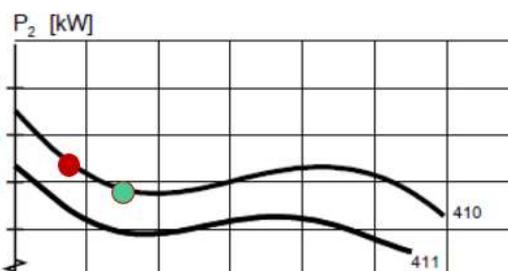


Figura 7 - Curva do Bombeamento: Potência (kW) x Vazão (l/s)

5. Análise Eletromecânica Avançada (Performance do indicador Vazão/kWh).

Após todas as definições tomadas nas fases desenvolvidas até esse ponto, a ferramenta proporcionou subsídios para a realização de uma nova configuração do Set Point operacional para a Elevatória. Contudo, a quinta etapa é considerada de monitoramento e ajuste fino da metodologia, podendo ter que refazer todas as análises ou algumas delas conforme seja necessário.

RESULTADOS OBTIDOS

A metodologia desenvolvida começou a ser aplicada em maio de 2023 na Elevatória de Esgoto Bruto da ETE Martinópolis, em São José dos Pinhais, região metropolitana de Curitiba/Pr.

Na Tabela 1 são apresentados todos os ajustes de Set Point da Elevatória da ETE Martinópolis que possui o Sistema de Controle Telelog. Na primeira linha estão os valores de Set Point originais, sendo BP (Bomba Principal), com 1,25 m (altura) para ligar e 0,95m para desligar e BC (Bomba Complementar ou Reserva), com 1,35 m para ligar e 1,15m para desligar . Estava sendo controlada com o nível 1,15m e vazão de 27 l/s, em 10/05/2023, trabalhando 24 horas direto. Nesse mesmo dia, mudou-se o ciclo de trabalho para 1:15 (uma hora e

quinze minutos) em funcionamento e 0:40 (quarenta minutos) desligada. Em 19/06/23 foram alterados o Set Point de desligar BP para 1,05m e o ciclo de funcionamento para 0:25 ligado e 0:15 desligado. E em 20/06/23, foram alterados todos os parâmetros: Liga BP para 1,38 m, Desl. BP para 1,15m, Liga BC para 2,5 m e Desl. BC para 2,15m, ciclo de trabalho para 0:25 funcionando e 0:15 desligado. O que se pode visualizar das medições é o aumento substancial da vazão, passando dos 27 l/s para 32 l/s.

MAP-E (METODOLOGIA DE ANÁLISE DE PERFORMANCE ENERGÉTICA EM ELEVATÓRIAS)															
MAP-E (METODOLOGIA DE ANÁLISE DE PERFORMANCE ENERGÉTICA EM ELEVATÓRIAS)															
SES SÃO JOSÉ DOS PINHAIS	ETE	MARTINÓPOLIS			SISTEMA DE CONTROLE			TELELOG 2.0		NÍCIO DA ANÁLISE	5/10/2023	CICLO FUNCIONAM.		CHUVA	
SET POINT (ORIGINAL)	LIGA BP	1,25	DESL. BP	0,95	LIGA BC	1,35	DESL. BC	1,15	VAZÃO	27	l/s	5/10/2023	B. PRINCIPAL	24:00:00	NÃO
SET POINT (MAP)	LIGA BP	1,25	DESL. BP	0,95	LIGA BC	1,35	DESL. BC	1,15	VAZÃO	31	l/s	5/10/2023	B. PRINCIPAL	01:15(00:40)	NÃO
SET POINT (MAP)	LIGA BP	1,25	DESL. BP	1,05	LIGA BC	1,35	DESL. BC	1,15	VAZÃO	32	l/s	6/19/2023	B. PRINCIPAL	00:40(00:25)	NÃO
SET POINT (MAP)	LIGA BP	1,38	DESL. BP	1,15	LIGA BC	2,5	DESL. BC	2,15	VAZÃO	32	l/s	6/20/2023	B. PRINCIPAL	00:25(00:15)	NÃO

Tabela 1: Ajustes no Set Point de Funcionamento da Elevatória

Na Tabela 2, a seguir, foi realizado o acompanhamento do consumo energético com o monitoramento nas faturas de energia elétrica, expondo o resultado da Eficiência Energética alcançada (média mensal e total anual). Desde o início da aplicação da metodologia em maio de 2023 até abril de 2024 (cor-de-rosa). Alcançando um resultado de quase 40% de eficiência energética no consumo.

MAP-E (METODOLOGIA DE ANÁLISE DE PERFORMANCE ENERGÉTICA EM ELEVATÓRIAS)																
ETE MARTINÓPOLIS (ANÁLISE MENSAL DE ENERGIA)																
ANO 2022	mai.-22	jun.-22	jul.-22	ago.-22	set.-22	out.-22	nov.-22	dez.-22	jan.-23	fev.-23	mar.-23	abr.-23	TOTAL (12 M)	MEDIO	TOTAL (ANO) R\$	MEDIA(MÊS)R\$
MEDIDO (KWh)	7,54	6,70	6,00	7,46	6,94	6,77	11,63	9,15	10,03	8,08	9,05	7,07	96,401	8,033	R\$ 68.444,71	R\$ 5.703,73
ANO 2023	mai.-23	jun.-23	jul.-23	ago.-23	set.-23	out.-23	nov.-23	dez.-23	jan.-24	fev.-24	mar.-24	abr.-24	TOTAL (12 M)	MEDIO		
MEDIDO (KWh)	3,45	4,52	4,09	4,66	5,21	5,51	7,36	6,52	3,53	5,75	3,63	4,39	58,61	4,885	R\$ 41.615,94	R\$ 3.468,00
DATA DO INÍCIO DA ANÁLISE E ALTERAÇÃO OPERACIONAL	5/10/2023							ALTERAÇÃO DE CONSUMO				-39,20%				

Tabela 2: Análise de Eficiência Energética (média mensal e total anual)

Outro ponto importante na análise é a performance do indicador do custo do quilowatt hora por metro cúbico de esgoto elevado. Com a evolução do estudo é possível verificar a tendência ao seu ponto ótimo operacional. Neste caso, o volume em m³ mensal é relacionado ao kWh medido no mês, quanto menor é esta relação mais próximo o resultado está da operação ideal do sistema.

MAP-E (METODOLOGIA DE ANÁLISE DE PERFORMANCE ENERGÉTICA EM ELEVATÓRIAS)																
VAZÃO	mai.-23	jun.-23	jul.-23	ago.-23	set.-23	out.-23	nov.-23	dez.-23	jan.-24	fev.-24	mar.-24	abr.-24	VOLUME ANUAL			
m ³ (realizado)	46.396	53.963	60.123	62.785	61.891	77.172	69.056	74.280	75.631	62.033	58.809	55.279	MÉDIO	63.118	TOTAL	757.418
CUSTO M ³	mai.-23	jun.-23	jul.-23	ago.-23	set.-23	out.-23	nov.-23	dez.-23	jan.-24	fev.-24	mar.-24	abr.-24	ALTERAÇÃO DE CUSTO kW/M ³			
kW/m ³	0,07	0,08	0,07	0,07	0,08	0,07	0,11	0,09	0,05	0,09	0,06	0,08	39,21%			
R\$/m ³	0,05	0,06	0,05	0,05	0,06	0,05	0,07	0,06	0,03	0,06	0,04	0,05				

Tabela 3: Análise de Eficiência Energética (Performance do indicador Vazão/kWh)

Mediante as análises realizadas com base no histórico dos parâmetros de funcionamento do sistema de bombeamento, a metodologia possibilitou elementos de auxílio para se obter a melhor eficiência no sistema. O resultado da implantação da metodologia já começou a ser verificado na fatura referente ao mês de maio/23. Atualmente a alteração no consumo acumulado anual é de -39,20%, uma queda de R\$68.448,26 para R\$41.615,94.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A melhor performance do funcionamento das elevatórias influencia positivamente em indicadores como o Indicador Eficácia no Consumo de Energia Elétrica - Esgoto, através da redução da relação entre quilowatt hora medido por volume de esgoto.

Outros indicadores a serem melhorados são: eficácia operacional, redução de horas extras, aumento da vida útil dos equipamentos e redução no custo de manutenção.



Resultados financeiros:

- Redução do consumo de energia elétrica, através de uma análise do histórico de funcionamento do bombeamento, ajustando os níveis de funcionamento das bombas, obtendo melhor eficiência no sistema;
- Redução no Custo de manutenção do sistema de bombeamento, graças à análise de grandezas elétricas que agora passaríamos a gerar um histórico de funcionamento;
- Melhoria na gestão de ativos, através dos dados do histórico, possibilitando a geração de relatórios justificando a substituição de dispositivos e equipamentos do sistema.

Resultados ambientais e sociais:

- Com a gestão online das EEEs a possibilidade de extravasamento pode ser reduzida, também pode ser reduzido o tempo de extravasamento;
- Também teremos uma vazão mais contínua na elevatória de esgoto bruto, o que resulta numa melhor eficiência no tratamento;
-

Impactos na satisfação do consumidor final e imagem da companhia:

- Aumento da confiabilidade do serviço prestado para a população, graças à melhora da gestão das EEE's;

Impactos na relação com demais stakeholders da Sanepar (acionistas, colaboradores, etc.):

- Implementação destes controles aumenta a confiabilidade da gestão operacional, incentivando investimentos na empresa, graças à tecnologia empregada de forma eficaz;
- Redução da mão de obra necessária para operação em campo, gerando também economia de recursos (transporte, hora-homem, equipamentos de proteção individual, uniformes, etc.).

CONCLUSÕES

Com a evolução das plataformas de comunicação de dados, seu armazenamento e devido tratamento, a Sanepar pode criar novas metodologias para aumentar a eficiência de seus processos industriais. A importância destas informações em tempo real é fundamental para a excelência na gestão operacional, resultando em uma melhor atuação junto aos seus clientes e à sociedade, prezando pela sustentabilidade ambiental e dos seus negócios.

No estudo realizado, após a implantação da metodologia em 4 (quatro) Elevatórias de Esgoto, a redução de consumo de energia apresentou economia média acima de 20% (anual), considerando de maio a dezembro de 2023. A EEE Martinópolis descrita no artigo foi a que apresentou o melhor resultado, praticamente o dobro da média, com dados atualizados de maio/23 a abril/24.

Considerando que o Custo de Energia Elétrica das 100 (cem) Estações Elevatórias de Esgoto da GTESEG é de aproximadamente R\$780.000,00 ao mês e se o projeto for disseminado para as demais 96 EEEs, em um cenário com resultado conservador de economia, projetamos resultado de 20% ao mês para os estudos futuros.

A previsão de economia com esta implantação, apenas com os sistemas da GTESEG, pode ultrapassar o valor de R\$1.800.000,00 ao ano, ainda com um campo enorme de desenvolvimento dentro da companhia, pois existem mais 560 Estações Elevatórias implantadas nas outras regiões do Estado do Paraná.

A Metodologia vem sendo desenvolvida num modelo PDCA, para que as melhorias possam ser aplicadas e corrigidas conforme necessidade. Os próximos passos desse desenvolvimento é tornar o processo que hoje tem bastante necessidade de atuação humana, principalmente, por meios empíricos de experiências de campo, num processo automatizado, construído numa solução de tecnologia de informação que possa ser de análise genérica para alcançar as mais de 650 estações elevatórias que não foram analisadas.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CRESPO, P. G. **Elevatórias nos sistemas de esgoto**. Belo Horizonte, UFMG, 2001.
2. NUVOLARI, Ariovaldo. **Esgoto sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola**. 1. ed. Brasil: Blucher, 2011. v. 1.
3. VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, Volume 1: Introdução À Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 3ª Edição. Belo Horizonte, Minas Gerais: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, 2005.
4. BARROS, Ferreira de Barros.GEDRA, Ricardo Luis. BORELLI, Reinaldo. **Eficiência Energética - Técnicas De Aproveitamento, Gestão De Recursos E Fundamentos**. 1ª Edição. Editora Érica, 2015.
5. BECKER, A. J., SILVA, D. M I, DIAS, F. H. S. PINHEIRO, L. K. P. **Noções básicas em programação MATLAB**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, outubro de 2010.